

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI**  
**FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**  
**KATEDRA ELEKTROENERGETIKY A EKOLOGIE**

# **BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

Analýza faktorů ovlivňující účinnost přeměny sluneční energie  
v energii elektrickou

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI**

**Fakulta elektrotechnická**

**Akademický rok: 2012/2013**

## **ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

**(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)**

Jméno a příjmení: **Tomáš HEROLD**  
Osobní číslo: **E11B0078P**  
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**  
Studijní obor: **Technická ekologie**  
Název tématu: **Analýza faktorů ovlivňujících účinnost přeměny sluneční energie v energii elektrickou**  
Zadávající katedra: **Katedra elektroenergetiky a ekologie**

### **Z á s a d y   p r o   v y p r a c o v á n í :**

1. Popište principy přeměny sluneční energie na elektrickou energii.
2. Zpracujte přehled faktorů, které tuto přeměnu ovlivňují.
3. Zhodnoťte vliv těchto faktorů na činnost fotovoltaických článků v podmínkách České republiky.

Rozsah grafických prací: **podle doporučení vedoucího**

Rozsah pracovní zprávy: **20 - 30 stran**

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

**Student si vhodnou literaturu vyhledá v dostupných pramenech podle doporučení vedoucího práce.**

Vedoucí bakalářské práce:

**Ing. Hana Benešová**

Katedra elektroenergetiky a ekologie

Datum zadání bakalářské práce: **15. října 2012**

Termín odevzdání bakalářské práce: **7. června 2013**

Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.

děkan



Doc. Ing. Karel Noháč, Ph.D.

vedoucí katedry

V Plzni dne 15. října 2012

## **Abstrakt**

Tato práce se zabývá fotonvoltaickými články a faktory ovlivňující účinnost přeměny sluneční energie na energii elektrickou. První část práce nás seznámí s fotonvoltaickým jevem, fotonvoltaickými články a jejich vlastnostmi. Druhá část pojednává o faktorech, které ovlivňují vlastní přeměnu sluneční energie na elektrickou energii a možnosti ovlivnění účinnosti výběrem polohy, natočení, zeměpisnou polohou. Poslední část je zaměřena na reálné možnosti České republiky.

## **Klíčová slova**

Fotonvoltaický článek, sluneční záření, energie fotonů, polovodiče, polovodičový přechod, monokrystalický křemík, polykrystalický křemík, křemíkový krystalický článek, článek z amorfního křemíku, tandemový článek, intenzita slunečního záření.

## **Abstract**

Analysis of factors influencing efficiency of solar energy transformation into electric energy

This work deals with photovoltaic cells and factors affecting the efficiency of converting solar energy to electricity. The first part introduces us to photovoltaic phenomenon photovoltaic cells and their characteristics. The second part deals with the effects influencing the transformation and the possibilities of affecting effectiveness of selection positioning, rotation, geographical location. The last part is focused on the real possibilities of Czech Republic.

## **Key words**

Photovoltaic cell, solar radiation, photon energy, semiconductors, semiconductor junction, monocrystalline silicon, polycrystalline silicon, crystalline silicon cell, cell of amorphous silicon tandem cell, solar radiation, the installed capacity of the Czech republic.

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této bakalářské práce, je legální.

.....  
Podpis

V Plzni dne 6. 6.2013

Tomáš Herold

## **Poděkování**

Tímto bych rád poděkoval vedoucí bakalářské práce Ing. Haně Benešové za odborné vedení, připomínky a podnětné rady při vypracování práce.

# Obsah

<b>OBSAH</b> .....	<b>8</b>
<b>ÚVOD</b> .....	<b>9</b>
<b>1 ROZDĚLENÍ FOTOVOLTAICKÝCH ČLÁNKŮ</b> .....	<b>10</b>
1.1 SLUNEČNÍ ZÁŘENÍ .....	10
1.2 PRINCIP FOTOVOLTAICKÉHO ČLÁNKU .....	10
1.3 FOTOVOLTAICKÉ ČLÁNKY PRVNÍ GENERACE.....	12
1.3.1 <i>Krystalický křemíkový článek</i> .....	12
1.4 FOTOVOLTAICKÉ ČLÁNKY DRUHÉ GENERACE.....	14
1.4.1 <i>Amorfní křemíkový článek</i> .....	15
1.5 FOTOVOLTAICKÉ ČLÁNKY TŘETÍ GENERACE.....	16
1.5.1 <i>Vícevrstvé (tandemové) fotovoltaické články</i> .....	16
1.5.2 <i>Koncentratorové fotovoltaické články</i> .....	17
1.5.3 <i>Kvantové fotovoltaické články</i> .....	18
<b>2 FAKTORY OVLIVŇUJÍCÍ PŘEMĚNU SLUNEČNÍ ENERGIE NA ENERGIÍ ELEKTRICKOU</b> .....	<b>19</b>
2.1 MATERIÁL.....	19
2.2 POLOHA A SKLON FOTOVOLTAICKÝCH PANELŮ.....	20
2.3 PŘÍRODNÍ PODMÍNKY .....	21
2.3.1 <i>Teplota</i> .....	21
2.3.2 <i>Sluneční záření dopadající na povrch Země</i> .....	22
2.3.3 <i>Vliv atmosféry</i> .....	24
2.3.4 <i>Znečištění atmosféry</i> .....	25
2.3.5 <i>Oblačnost</i> .....	26
2.3.6 <i>Zeměpisná poloha</i> .....	26
2.3.7 <i>Znečištění fotovoltaických článků</i> .....	27
<b>3 VLIVY TĚCHTO FAKTORŮ V PODMÍNKÁCH ČESKÉ REPUBLIKY</b> .....	<b>28</b>
3.1 TEPLOTA V ČR .....	28
3.2 SLUNEČNÍ ZÁŘENÍ V ČR.....	28
3.3 SRÁŽKY ČR.....	30
3.4 LEGISLATIVA ČR .....	31
3.5 INSTALOVANÝ VÝKON V ČR.....	32
<b>ZÁVĚR</b> .....	<b>34</b>
<b>POUŽITÁ LITERATURA</b> .....	<b>35</b>
<b>PŘÍLOHY</b> .....	<b>39</b>



## Úvod

V mojí práci se zaměřuji na fotovoltaické články a vlivy, které ovlivňují jejich účinnost přeměny sluneční energie na energii elektrickou. Jaké možnosti má Česká republika ve využití a rozvoji technologií, které využívají sluneční záření na výrobu elektrické energie.

Využíváním fosilních paliv se dostane velké množství práce relativně výkonově stabilní, na rozdíl od práce vykonané zvířetem, vodou nebo větrem. Využíváním fosilních paliv jsme však urychlili změnu klimatu na naší planetě, tato změna klimatu může způsobit rozsáhlé škody v ekosystému.

V dnešní době jsme na elektřině závislí. Je to jeden ze základních zdrojů, které nám pomáhají utvářet naši společnost. Tato skutečnost však představuje potenciální nebezpečí pro náš život na planetě. Naše nároky na spotřebu elektrické energie stále vzrůstají, proto musíme vyrábět stále větší množství elektrické energie, abychom tuto spotřebu pokryli.

V důsledku klimatických změn a vyčerpávání fosilních paliv, které nám již docházejí (odhaduje se u uranu, ropy a zemního plynu 50 - 70 let, u uhlí by mohly zásoby vystačit na 600 let). Při spalování fosilních paliv se produkuje velké množství odpadu. Proto se snažíme najít nové možnosti využívání obnovitelných zdrojů a nahradit spotřebu těchto neobnovitelných, ekologicky velice škodlivých zdrojů.

Lidstvo vždy využívalo Slunce pro svoje potřeby, například k sušení masa a oblečení. Ale až v poslední době jsme začali chápat jeho sílu a možnosti, které se dají využít v náš prospěch a zároveň ochránit Zemi před námi samotnými. V posledních několika desítkách let jsme začali zkoumat výrobu elektrické energie získanou ze slunečního záření s použitím fotovoltaických panelů, nebo k zachycení tepelné energie solárními kolektory.

V první kapitole vysvětlím princip přeměny sluneční energie na energii elektrickou ve fotovoltaickém panelu a rozdělení fotovoltaických panelů podle využívání různých materiálů.

V další kapitole se zaměřím na faktory ovlivňující přeměnu sluneční energie na energii elektrickou ve fotovoltaickém panelu.

V poslední kapitole nastíním vliv zeměpisné polohy na dopad slunečního záření a vyhodnotím možnosti České republiky k využívání solárního záření na výrobu elektřiny.

# 1 Rozdělení fotovoltaických článků

## 1.1 Sluneční záření

Slunce čerpá energii z termonukleární reakce (jaderná syntéza, fúze). Tato reakce probíhá uprostřed Slunce. Termonukleární reakce používá jako palivo vodík, díky ohromnému tlaku a teplotě se může vodík přeměnit na helium, zároveň se uvolní neuvěřitelné množství energie, tato energie je v podobě elektromagnetického záření uvolněna ze Slunce do prostoru. Kosmický prostor sluneční záření nepohlcuje, ale vyzářený výkon se rozprostírá na expandující ploše. Proto na Zemi dopadá velice malá část celkového vyzářeného výkonu slunce. [1]

## 1.2 Princip fotovoltaického článku

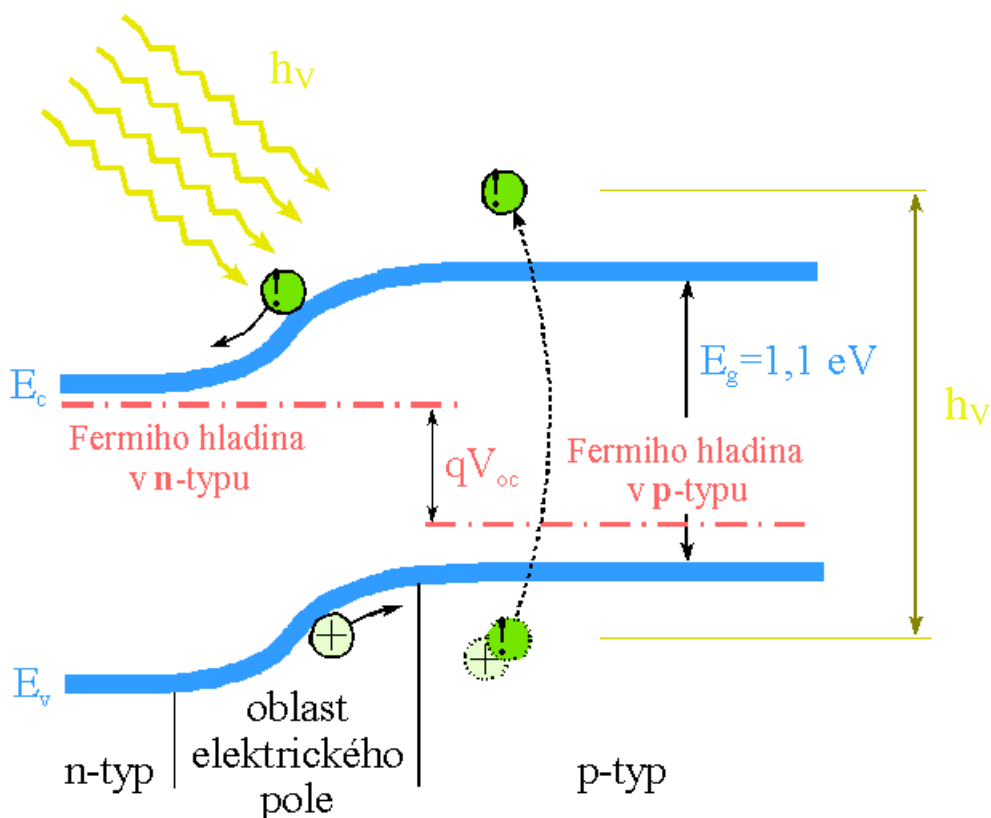
Když na polovodičový přechod dopadne foton dostatečné energie (tato energie musí odpovídat minimálně elektrické šířce zakázaného pásu polovodiče) je tato energie absorbována a v polovodiči vznikne jeden volný elektron a jedna volná díra. Pokud je energie fotonu větší, než je šířka zakázaného pásu, dojde nejen ke vzniku volných částic, ale vzniká i teplo, které odpovídá rozdílu energie dopadajícího fotonu a šířce zakázaného pásu.

Aby se ze slunečního článku stal elektrický zdroj, musí v něm nastat tok elektronů jedním směrem a tok děr druhým směrem. Proto se fotovoltaický článek skládá z části, která má tzv. elektronovou vodivost (polovodič typu n), a části, která má tzv. děrovou vodivost (polovodič typu p).

Polovodič typu n vznikne, když přidáme do křemíku se čtyřmi valenčními elektrony prvek, který má valenčních elektronů pět (například fosfor, antimon, arsen). Čtyři valenční elektrony se naváží na křemík (tím vznikne kovalentní vazba) a pátý elektron se může snadno uvolnit.

Polovodič typu p vznikne, když přidáme do křemíku prvek, který má tři valenční elektrony (například bór, hliník, galium a indium). Takto nevznikne úplná kovalentní vazba, je tedy vytvořena ze tří dvojic a jedním samotným elektronem, který se velice snadno páruje. Přijmutím valenčního elektronu sousedního atomu se tato imaginární díra přesouvá. Proto se tomu říká děrová vodivost.

Spojením těchto dvou polovodičů nám vznikne přechod p-n. Pokud tento přechod p-b osvětlíme, dochází na přechodu k oddělování děr a elektronů. Tímto způsobem vznikne na kontaktech napětí  $V_{OC}$  (toto napětí je u křemíkového článku asi 0,5V-0,6V).



OBR. 1-1: ZNÁZORNĚNÍ POHLČENÍ ENERGIE FOTONU KE VZNIKU VOLNÉHO ELEKTRONU [2]

- $h\nu$  – energie fotonu
- $E_c$  - vodivostní pás
- $E_v$  - valenční pás
- $E_g$  – šířka zakázaného pásu ( $E_g = E_c - E_v$ )
- $V_{OC}$  – napětí vzniklé při osvětlení

Fotovoltaický článek je vlastně polovodičová dioda, ve které vzniká po dopadu fotonů elektrický proud. Velikost tohoto proudu závisí na množství dopadajících fotonů, a toto množství je závislé na ploše, na kterou fotony dopadají.

Obr. 1-1 znázorňuje absorpci energie fotonu po dopadu na polovodič, tato energie musí být větší, než je šířka zakázaného pásma polovodiče. Po absorpci je energie využita pro přeskok elektronu z nižší energetické hladiny ( $E_V$ ) do vyšší energetické hladiny ( $E_C$ ). Pokud je energie fotonu menší, než je zakázané pásmo polovodiče, pak tento foton není pohlcen a projde polovodičem nevyužit.[2]

### 1.3 Fotovoltaické články první generace

Fotovoltaické články první generace jsou založeny na krystalické formě křemíku (c-Si). Využívá se vlastností p-n přechodu. První články využívající p-n přechod byly sestaveny v Bellově laboratoři ve Spojených státech amerických v roce 1954. Články zde dosáhly jen 6% účinnosti. Od doby tohoto pokusu se většina fotovoltaických článků zakládala na krystalické formě křemíku.

Největší nevýhody článků první generace jsou relativně drahá výroba (energeticky i finančně), protože je potřeba velké množství krystalického čistého křemíku a dalších prvků, také malá účinnost absorpce difúzního záření a dlouhodobá energetická návratnost (EPBT - energy pay-back time) a financí. [4]

V současné době je kolem 85% všech článků dodaných na trh články první generace.[2]

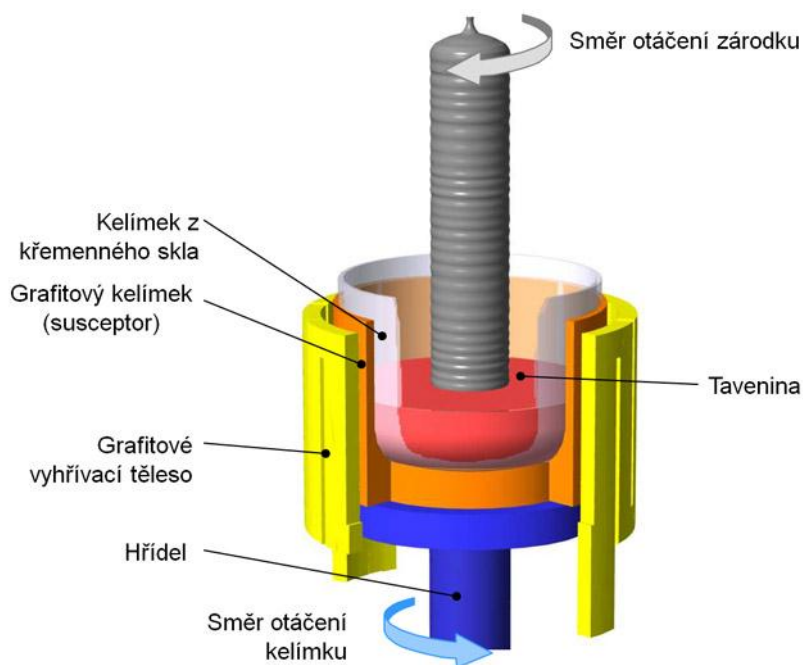
#### 1.3.1 Krystalický křemíkový článek

Křemík absorbuje velkou část světelného spektra, které na křemík dopadne. Neabsorbuje však část infračerveného spektra, protože fotony s vlnovou délkou nad 1100 nanometrů nemají dostatečnou energii, která je potřebná ke vzniku volného elektronu v křemíku (minimální energie je asi 1,1 eV).

Fotovoltaické články první generace se ještě dají rozdělit na polykrystalické a monokrystalické články.

Polykrystalické články se vyrábějí lisováním. Tyto články mají účinnost asi 11 - 13%. Polykrystalické články dokáží lépe absorbovat rozptýlené (difúzní) světlo.

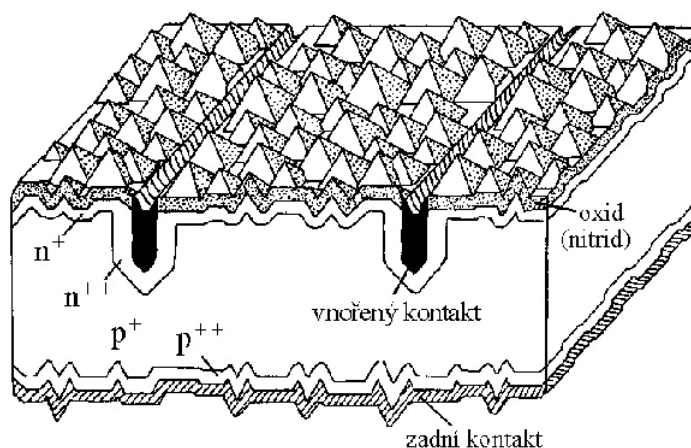
Monokrystalické články se vyrábějí Czochalského procesem „vytahováním“ krystalových ingotů, jejich účinnost je asi 11 - 15%, ale s ohledem na energetickou návratnost při výrobě jsou dražší než polykrystalické články.



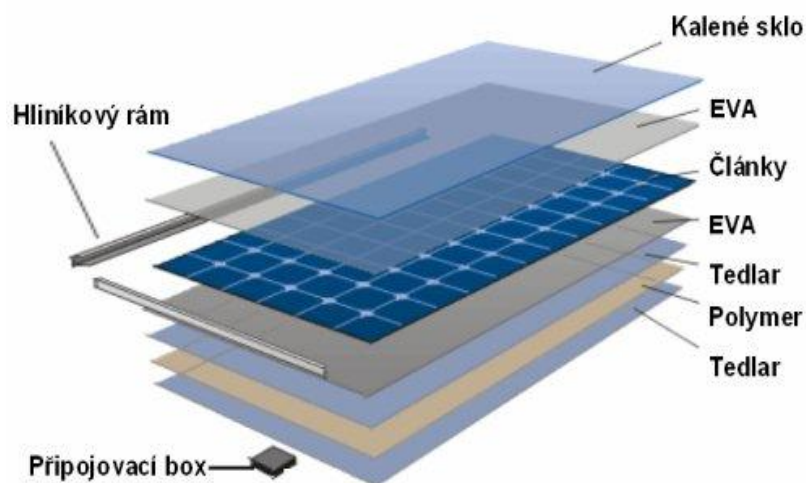
**OBR. 1-2 TAŽENÍ MONOKRYSTALICKÉHO KŘEMÍKU Z TAVENINY [4]**

Obr. 1-2 znázorňuje postupné narůstání monokrystalu křemíku na zárodkovém krystalu. Na zárodkovém krystalu narůstá homogenní krystalická struktura. Bez zárodku nenaroste pravidelná krystalická struktura.

Poté se ingot nařeže na tloušťku 0,2-0,3 mm. Tyto desky se pak ořezávají do čtvercového tvaru, aby se využila nejlépe plocha fotovoltaického panelu. Povrch těchto destiček se naleptává, aby se vytvořila matnější (členitější) textura, která lépe pohlcuje světlo. Po tomto procesu se dopují, aby dostaly polovodičové vlastnosti typu n a p a tím se vytvořil přechod p-n. Článek se pak pokryje vrstvou nitridu, který má antireflexní vlastnosti (tím získá článek tmavě modrou barvu). Sítotiskem se vytvoří vodivé propojení na přední i zadní straně. Po této úpravě se články vypalují, aby se vodivě propojil křemík s metalickou barvou nanesenou sítotiskem.



OBR. 1-3 ZNÁZORNĚNÍ STRUKTURY KŘEMÍKOVÉHO ČLÁNKU [2]



OBR. 1-4 ZNÁZORNĚNÍ VRSTEV OBSAŽENÝCH VE FOTOVOLTAICKÉM PANELU [12]

Obr. 1-4 před nepříznivými podmínkami musí být fotovoltaické články chráněné tvrzeným sklem, které se spojuje pomocí EVA (Etylen-Vinyl-Acetát) vrstvou s články. Spodní strana se kryje vícevrstvou pevnou fólií (Tedlar a polymer), také spojené EVA vrstvou, vše je vsazené do hliníkového rámu.

## 1.4 Fotovoltaické články druhé generace

Druhá generace fotovoltaických článků se zcela liší od první generace. Jeden důvod je snaha omezit množství spotřebovaného polovodičového materiálu tím, že se na substrát nanese jen tenká vrstva polovodiče. Jako polovodič se používá amorfni hydrogenizovaný křemík (a-Si:H), měď-indium-galium-diselenid (CIGS), nebo kadmium-telur (CdTe). Jako

substrát se používá hlavně sklo, různé plasty a kovové plechy. Tyto substráty se někdy dají použít jako střešní krytina.

V této generaci se používá přechod p-i-n, kde mezi polovodiče typu p a n se vloží nedopovaná vrstva i. Tato vrstva je nejdůležitější, protože je schopna absorbovat dopadající sluneční záření, které generuje pár elektron-díry. Na tuto vrstvu se kladou určité nároky, jako je vysoký absorpční koeficient (ve využívaném rozsahu vlnových délek), životnost a vysoká pohyblivost nosičů elektrického náboje. Vysoká intenzita elektrického pole, která je mezi pasivní p a n vrstvou, zajišťuje oddělení elektronů od děr. [4]

Účinnost komerčně vyráběných tenkovrstvých článků závisí na materiálu, ale většinou je menší než u článků první generace. Tato technologie by měla při velkovýrobě dopad na vzácné suroviny (například galium, nebo indium), které by se mohly stát nedostatkovými.

#### **1.4.1 Amorfni křemíkový článek**

Tenký film amorfního hydrogenizovaného křemíku se nechává narůst v tenký film z plynného stavu (plynný  $\text{SiH}_4$ ), ve vakuové komoře, při teplotách okolo  $250^\circ\text{C}$ . Používá se CVD (Chemical Vapour Deposition), konkrétně PECVD (Plasma-Enhanced Chemical Vapour Deposition). Tato technologie umožňuje nanášet fotovoltaické články na flexibilní polymery a jiné substráty. Výroba těchto článků je tedy materiálově i energeticky levnější, než jsou krystalické technologie. [6]

Výhoda amorfního hydrogenizovaného křemíku je menší teplotní součinitel výkonu, tedy jeho účinnost klesá s rostoucí teplotou mnohem pomaleji, než u krystalického křemíku. Amorfni hydrogenizovaný křemík lépe absorbuje rozptýlené sluneční záření, než krystalický křemík.

Nevýhoda amorfního hydrogenizovaného křemíku je jeho účinnost, která je zhruba poloviční, než je tomu u krystalického křemíku. V porovnání pro stejný instalovaný výkon je potřeba pokrýt zhruba dvakrát větší plochu. [7]

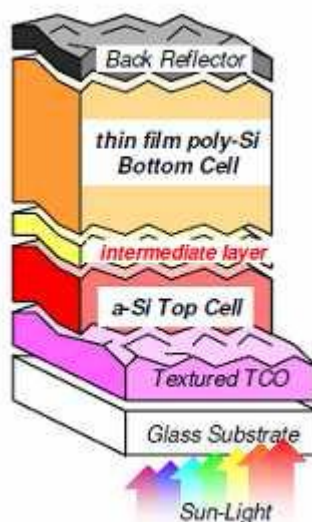
## 1.5 Fotovoltaické články třetí generace

Fotovoltaické články třetí generace využívají vícevrstvé a koncentrátorové články, také lze do této kategorie zařadit články využívající kvantových jevů, organické články a různé speciální články, které by mohli využívat „horké“ nosiče náboje generující více párů elektronů a děr. Další typy článků využívají kvantových jevů v kvantových jamkách a tečkách, organické články využívající objemových hetero-přechodů. [9]

Tato generace je spíše ve fázi laboratorního výzkumu než v komerčním využití.

### 1.5.1 Vícevrstvé (tandemové) fotovoltaické články

Vrstvy se skládají do série tak, aby se využila co největší možná šířka slunečního spektra. Tyto články již přesáhly 8% účinnost v průmyslové výrobě a očekává se ještě růst účinnosti nad 10%. Vyšší účinnosti se může dosáhnout přidáním více p-i-n přechodů tak, aby každá vrstva absorbovala část slunečního spektra, které má fotony s větší energií než je zakázaná šířka pásma dané vrstvy a zbytek spektra prošel do dalších vrstev. Amorfni křemík má dobrou absorpci v žluté, zelené a modré oblasti. Mikrokrytalický křemík absorbuje červené a infračervené oblasti slunečního spektra. Dvouvrstvé články mají teoretickou účinnost 42%, třívrstvé 49%, šestivrstvé 65%, jejich limita u nekonečného počtu vrstev je 68%. [13]



OBR. 1-5 ZNÁZORNĚNÍ STRUKTURY VÍCEVRSTVÉHO (TANDEMOVÉHO) ČLÁNKU [5]



Obr. 1-5 znázorňuje různé vrstvy článku - vrstva z amorfního hydrogenizovaného křemíku (a-Si:H) má šířku zakázaného pásu 1,75 eV, proto světlo nejdříve prochází právě touto vrstvou. Fotony s menší energií, než je šířka zakázaného pásma a-Si:H projdou do nižší vrstvy, kterou tvoří tenkovrstvý mikrokrystalický křemík (na obrázku označen jako poly-Si).

Články s více vrstvami jsou výrobně mnohem složitější a v přepočtu na jednotku výkonu asi 2 až 3krát dražší než jednovrstvé články. [8]

### **1.5.2 Koncentratorové fotovoltaické články**

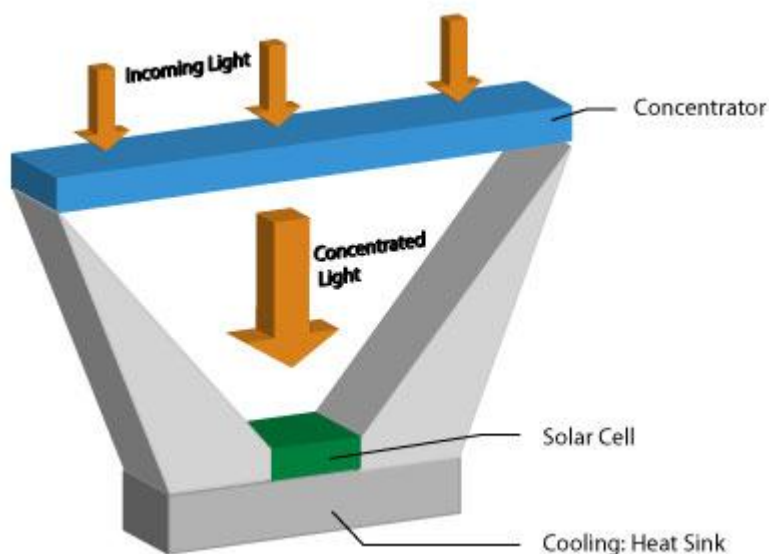
Tyto články jsou založeny na principu koncentrace slunečního záření do malé plochy pomocí zrcadel, nebo Fresnelovy čočky. U těchto článků se při větších intenzitách slunečního záření dosahuje vyšší účinnosti, ale potřebují přímé sluneční záření.

Výhodou této technologie je potřeba menšího množství fotovoltaických materiálů k zachycení stejného množství slunečního záření, než u fotovoltaických technologií bez použití koncentrace slunečního záření.

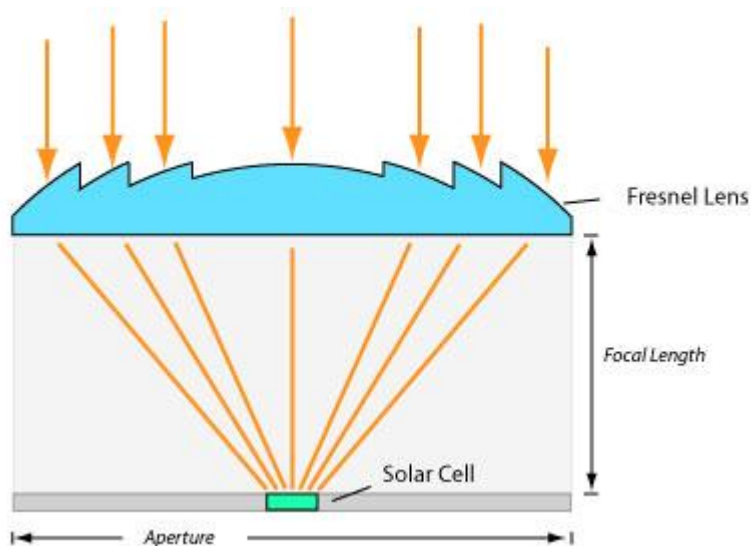
Jelikož je potřeba pokrýt mnohem menší plochu, používají se vysoce účinné a drahé články (například tandemové články - využívající několik přechodů).

Optický systém je tvořen materiály (například sklo, plasty), které mají osvědčenou výrobní technologii. Také je optika levnější než fotovoltaické články.

Nevýhodou této technologie je potřeba přímého slunečního záření. To znamená použití polohovacích zařízení.[10]



OBR. 1-6 SCHÉMA KONCENTRÁTOROVÉHO FOTOVOLTAICKÉHO ČLÁNKU [10]



OBR. 1-7 FRESNELOVA ČOČKA [10]

### 1.5.3 Kvantové fotovoltaické články

Skupině vědců z americké Národní laboratoře pro obnovitelné zdroje se podařilo vyrobit fotovoltaický článek, který má kvantovou účinnost přes 100%. Kvantová účinnost se pohybuje okolo 114%, závisí na vlnové délce dopadajícího záření. Autoři odhadují kvantovou účinnost až 130%, pokud se započítají i ztráty odrazem a absorpcí.

Článek použit v tomto experimentu byl složen z antireflexního skla, na které byla nanесena vrstva průhledného vodiče a nanostrukturní vrstva oxidu zinečnatého, další vrstva byla složena z kvantových teček ze selenidu olova impregnovaných ethaneditolem a hydrazinem. Vrchní elektroda byla vytvořena z tenké vrstvy zlata.

Kvantová účinnost je definována podílem generovaných částic (excitonů = pár elektron + díra) a počtem fotonů dopadajících na fotovoltaický článek, proto když se vygeneruje větší množství excitonů, než je počet dopadajících fotonů může být účinnost větší než je 100%.

Foton musí mít nejméně dvojnásobnou energii, než je šířka zakázaného pásu, aby vygeneroval větší množství excitonů. Tento proces se nazývá víceexcitové generování, ve zkratce MEG (Multiple Exciton Generation), nebo násobení nosičů, ve zkratce CM (Carrier Multiplication). K tomuto jevu může docházet jen v polovodičových nanokrystalech, nebo kvantových tečkách. Tento jev byl zatím pozorován jen u izolovaných kvantových teček v koloidním roztoku. [16]

## 2 Faktory ovlivňující přeměnu sluneční energie na energii elektrickou

Prakticky se zatím používají jen články z amorfního křemíku a články z krystalického křemíku. Tyto články se od sebe odlišují hlavně technologií výroby, účinností, spotřebou energie a materiálu při výrobě. Tyto materiály však pracují na stejném principu přeměny sluneční energie na energii elektrickou.

### 2.1 Materiál

Pro přeměnu sluneční energie na energii elektrickou se využívají jen polovodičové materiály, protože při dodání energie do polovodiče se uvolní pár elektronu a díry.

Každý polovodičový materiál používaný u fotovoltaických článků má určitý rozsah vlnových délek, které pohlcuje. Tento rozsah je určen hlavně šířkou zakázaného pásu materiálu. Pokud však je energie fotonu větší, než je šířka zakázaného pásu, pak rozdíl těchto energií se přemění na teplo. U krystalického křemíku je šířka zakázaného pásu 1,1 eV, amorfni hydrogenizovaný křemík má šířku zakázaného pásu 1,75 eV, měď-indium-galium-

selen (CIGS) má rozpětí od 1 eV (pro měď-indium-selen) do 1,7 eV (měď-galium-selen), kadmium-telur (CdTe) má 1,44 eV. Díky šířce zakázaného pásma u krystalického křemíku (přesněji mikrokrystalický hydrogenizovaný křemík  $\mu\text{-Si:H}$ ) a amorfního hydrogenizovaného křemíku se pak využívají tyto materiály u tandemových (vícevrstevných) článků.

## 2.2 Poloha a sklon fotovoltaických panelů

Poloha fotovoltaických článků může ovlivňovat jejich účinnost například tím, že část dne může být fotovoltaický článek částečně nebo úplně zastíněn budovou nebo jinou překážkou. Pokud na fotovoltaické články nedopadá přímé sluneční záření, jejich účinnost klesne, jen amorfni křemík a částečně polykrystalický křemík dokáže absorbovat malé množství rozptýleného světla. Proto se tyto články využívají v místech, kde nelze natočit fotovoltaické panely na jih.

Ideální natočení fotovoltaických článků je na jih, podle orientace z rozsahu jihozápad až po jihovýchod mohou dosahovat ztráty maximálního výkonu i 5%. Panely se mohou orientovat vertikálně se ztrátou až 30%, nebo horizontálně se ztrátou až 10%. Sklon a natočení panelů může být pevné, nebo se mohou použít polohovací systémy. [14]

U zeměpisné polohy České republiky (tedy asi  $50^\circ$  s. š.) se používá statické i dynamické nastavení panelů. Pevné natočení panelů se nastavuje podle volby provozní doby. U celoročního provozu se panely nastavují zhruba na  $49^\circ$ , protože v zimních měsících se Slunce pohybuje níže na obloze. V České republice se používá sklon panelů kolem  $32^\circ$ , pro maximální využití dopadajícího slunečního záření, protože v letních měsících dopadne asi 75% energie z celoročního záření.

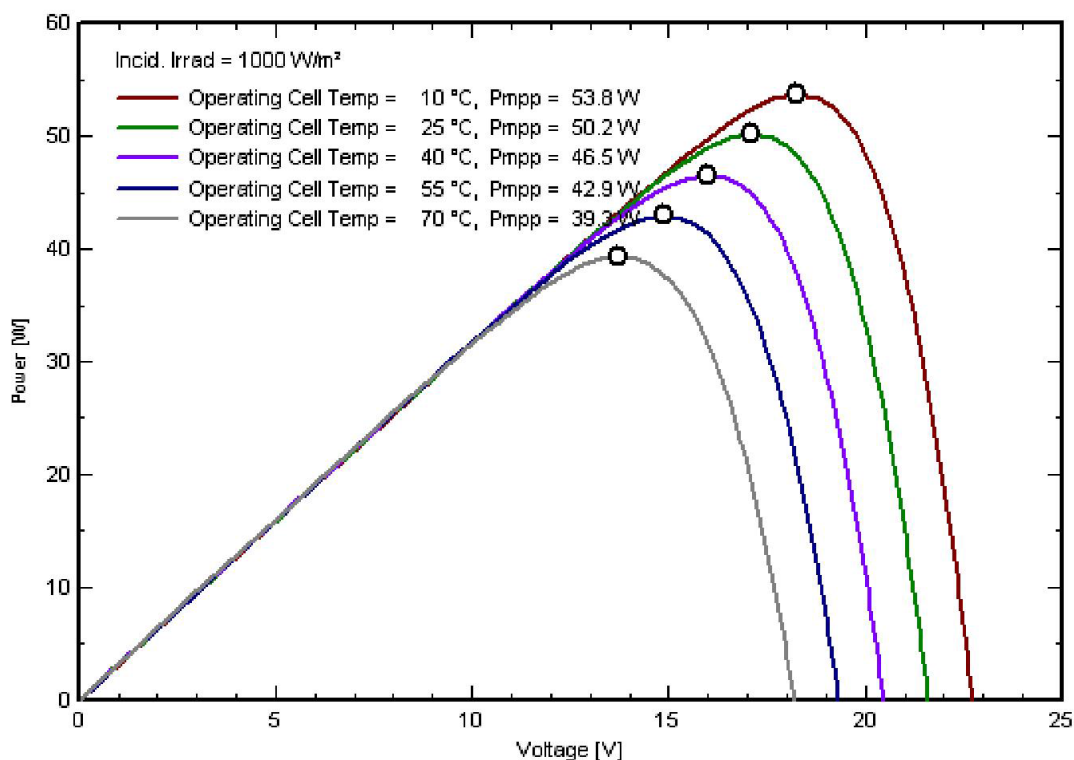
S použitím polohovacích jednotek se využije celá plocha fotovoltaického panelu po celý den, tím se zaručí natočení panelu tak, aby sluneční paprsky dopadaly kolmo na plochu panelů. Snižují se tím ztráty odrazem paprsků. Takto se dosáhne maximální možný výkon produkovaný panelem. Statisticky je celkový výtěžek z dynamických solárních systémů asi o 40% větší, než u statických systémů. Natáčením panelů se zvyšuje produkovaný výkon za slunečného počasí až o 70% v porovnání s pevnou instalací, při snížených slunečních podmínkách je u dynamických systémů asi o 14% větší produkovaný výkon. [15]

## 2.3 Přírodní podmínky

Největší vlivy na přeměnu sluneční energie na energii elektrickou má hlavně teplota, intenzita dopadajícího slunečního záření a zeměpisná poloha umístěného fotovoltaického článku.

### 2.3.1 Teplota

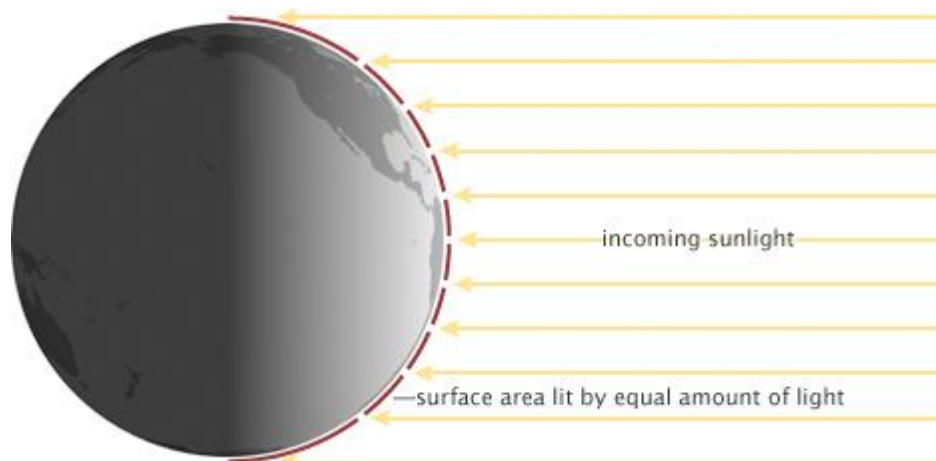
Fotovoltaické články jsou velice citlivé na teplotu, stejně jako všechny ostatní polovodičové součástky. Tato teplota se projeví u fotovoltaických článků snížením jejich účinnosti přeměny slunečního záření na elektrickou energii. Jmenovité hodnoty účinností jsou u fotovoltaických článků udávány při teplotě 25°C. [19]



OBR. 2-1 ZÁVISLOST VÝKONU NA NAPĚTÍ ZA RŮZNÝCH TEPLOT [18]

Na Obr. 2-1 je vidět snížení výkonu při zvyšující se teplotě. Zároveň je vidět, že napětí stále narůstá se zvyšující se teplotou. Vlivem rostoucí teploty výkon klesá, tím pádem klesá proud.

### 2.3.2 Sluneční záření dopadající na povrch Země

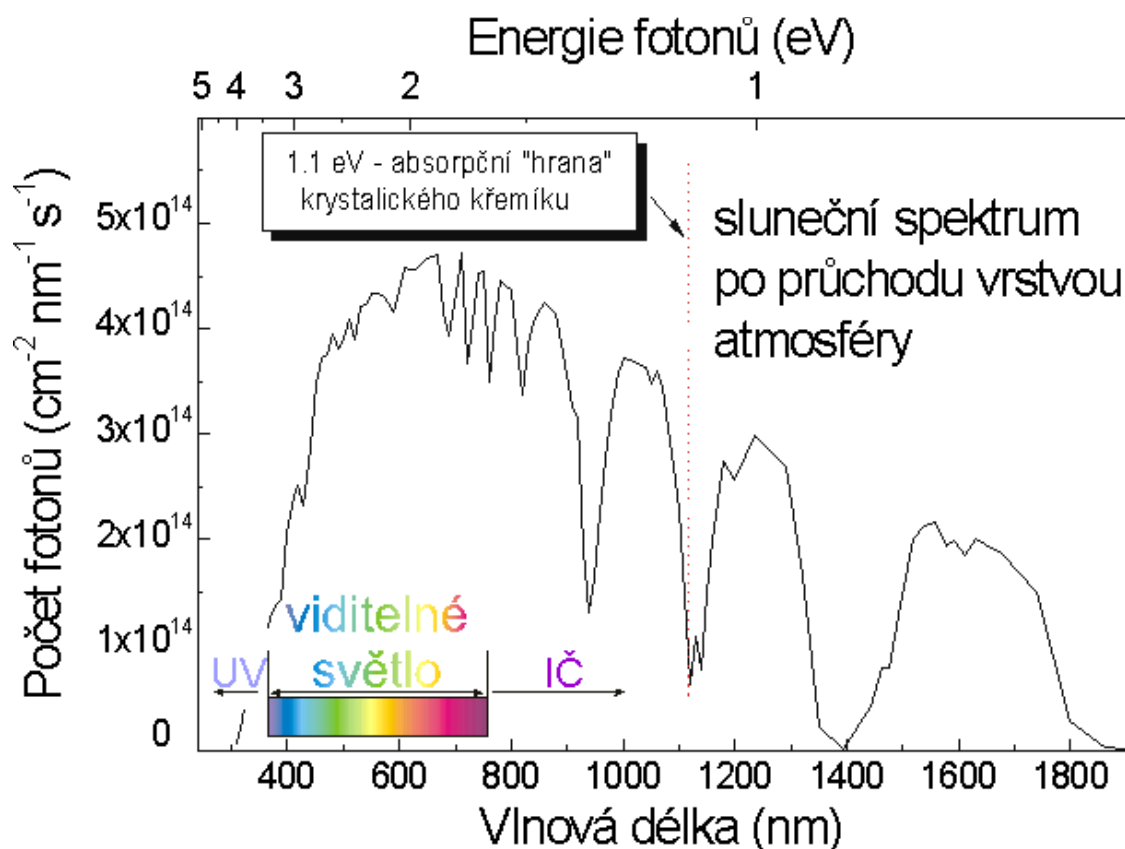


OBR. 2-2 ZNÁZORNĚNÍ DOPADU SLUNEČNÍHO ZÁŘENÍ NA ZEMSKÝ POVRCH [19]

Z Obr. 2-2 vidíme, že sluneční záření dopadá na zemský povrch pod různými úhly. Za kolmý dopad můžeme uvažovat jen oblast okolo rovníku. Pokud dopad slunečního záření není kolmý, může nastat odraz. Odrazit se může část nebo celé spektrum záření.

Sluneční spektrum je složeno ze záření různých vlnových délek. Od ultrafialového (které má kratší vlnovou délku, ale větší energii) přes viditelné spektrum až po infračervené spektrum.

Sluneční záření je částečně pohlceno atmosférou, velká část ultrafialového záření je pohlcena ozónovou vrstvou, infračervené záření je částečně pohlceno atmosférou (hlavně oxidem uhličitým a vodními parami). Viditelné spektrum je také pohlcováno atmosférou, proto jeho intenzita závisí na délce průchodu atmosférou. Ve vyšších nadmořských výškách je pohlcení menší než u mořské hladiny. Směrem k pólům se toto pohlcení zvětšuje. Hlavním důvodem je zmenšování úhlu, kdy se prodlužuje cesta atmosférou, kterou paprsky musí projít. Menší uhel také způsobuje částečné odrazy nebo úplné odrazy od různých překážek.



OBR. 2-3 ZNÁZORNĚNÍ ENERGIE A MNOŽSTVÍ FOTONŮ RŮZNÝCH VLNOVÝCH DÉLEK [2]

Intenzita slunečního záření na povrchu Země je množství sluneční energie v  $\text{kWh/m}^2$  pro roční úhrn dopadající energie, nebo  $\text{W/m}^2$  pro okamžitou intenzitu slunečního záření. Záření závisí na zeměpisné poloze a na průměrném počasí v určité oblasti (hlavně množství oblačnosti a stavu znečištění ovzduší).

Sluneční záření se skládá z přímého záření a difúzního záření.

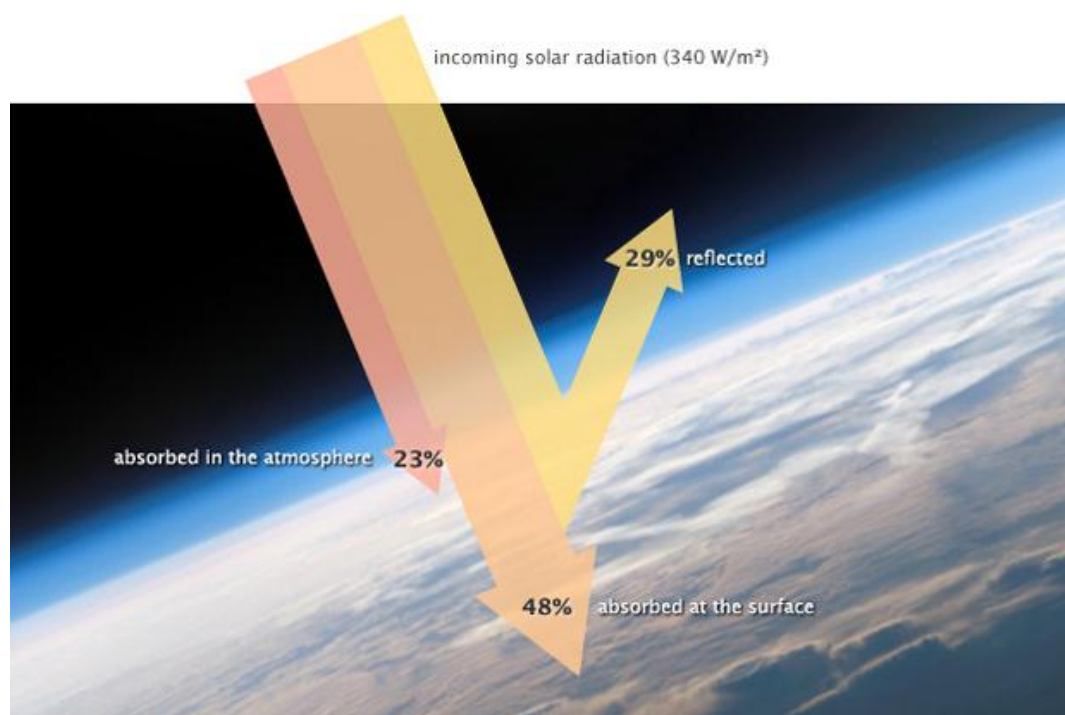
**Přímé záření** je takové záření, které není průchodem atmosférou pohlceno a opět vyzářeno ani odraženo. Také se vyznačuje mnohem vyšší intenzitou v jediném směru.

**Difúzní záření** je odražené sluneční záření od částic obsažených v atmosféře (prach, páry,...). Množství difúzního záření je závislé na oblačnosti a znečištění atmosféry. Při zatažené obloze dopadá na zemský povrch jen difúzní záření. Difúzní záření má intenzitu do všech směrů stejnou (izotropní). [19]

### 2.3.3 Vliv atmosféry

Atmosféra je podle teploty vzduchu a nadmořské výšky rozdělena na několik vrstev:

- **Troposféra** sahá od 0 do 18 km. Prakticky všechna vzdušná voda je obsažena jen v této vrstvě. Většina vlivů počasí jako je déšť, sníh a vítr vzniká právě v této vrstvě.
- **Stratosféra** sahá od 18km do 50 km. Obsahuje ozonovou vrstvu, která absorbuje sluneční záření krátkých vlnových délek.
- **Mezosféra** sahá od 50 km do 80 km.
- **Termosféra** sahá od 80 km do 450 km.
- **Exosféra** sahá nad 450 km. Nelze u ní určit konec, protože přechází do meziplanetárního prostoru plynule [24]



**OBR. 2-4 ZNÁZORNĚNÍ VLIVU ATMOSFÉRY NA SLUNEČNÍ ZÁŘENÍ [19]**

Na Obr. 2-4 je zobrazeno, jak se chová naše atmosféra ke slunečnímu záření. Sluneční paprsky jsou průchodem různými vrstvami atmosféry odraženy, lámány nebo pohlcovány.

Průměrně 29% slunečního záření, které dorazí na povrch atmosféry, je odraženo zpátky do vesmíru. Tento odraz je způsoben vodní parou, atmosférickými částicemi, nebo dobře odrazivou plochou jako je oceán, led, nebo sníh. Dalších 23% dopadajícího slunečního



záření absorbují vodní páry, prach a ozon. Zbytek slunečního záření (tedy 48%) se absorbuje povrchem Země. [19]

### 2.3.4 Znečištění atmosféry

Pro výpočet koeficientu znečištění  $Z$  si musíme určit několik hodnot.

#### Sluneční konstanta $I_0$

Intenzita slunečního záření na povrchu zemské atmosféry.

$$I_0 = 1350 \text{ W/m}^2 \text{ (průměrná hodnota)}$$

#### Intenzita slunečního záření $I_D$

Pro 300 m n. m. (průměrná nadmořská výška měst v ČR)

$$I_D = I_0 \exp[-0,097Z(\sin h)^{-0,8}]$$

#### Součinitel znečištění atmosféry $Z$ [-]

Definuje násobek čisté atmosféry, aby měla stejnou absorpci slunečního záření, jako atmosféra znečištěná.

$$Z = \frac{\ln\left(\frac{I_D}{I_0}\right)}{\ln\left(\frac{I_C}{I_0}\right)}$$

Intenzita slunečního záření při průchodu čistou atmosférou  $I_C$  [ $\text{W/m}^2\text{K}$ ]

Příklady průměrných hodnot  $Z$  pro několik oblastí:

$Z = 2$  pro místa nad 2.000 m n.m.

$Z = 2,5$  pro místa nad 1.000 m n.m.

$Z = 3$  pro venkov

$Z = 4$  pro města

$Z = 5 - 6$  pro průmyslové oblasti [40]

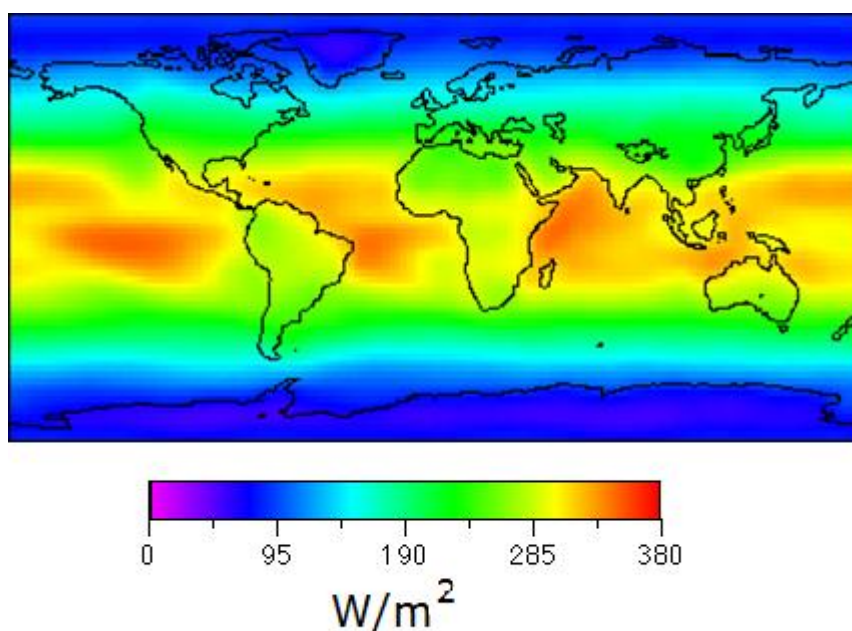
### 2.3.5 Oblačnost

Oblačnost se definuje jako zlomek, který přibližně udává, jak velkou část oblohy zakrývají mračna. Oblačnost také ovlivňuje intenzitu dopadajícího slunečního záření, protože intenzita slunečního záření závisí na součtu přímého a difúzního záření.

Jasno	1/8
skoro jasno	2/8
malá oblačnost	3/8
Polojasno	4/8
Oblačno	5/8
velká oblačnost	6/8
skoro zataženo	7/8
Zataženo	8/8

TAB. 2-1 STUPNICE K URČENÍ OBLAČNOSTI [21]

### 2.3.6 Zeměpisná poloha



OBR. 2-5 PRŮMĚRNÁ OKAMŽITÁ INTENZITA SLUNEČNÍHO ZÁŘENÍ NA POVRCHU ZEMĚ [22]

Na Obr. 2-5 pak vidíme, jak je průměrná intenzita slunečního záření u rovníku největší a směrem k pólům se snižuje. V oblastech okolo rovníku sluneční paprsky prakticky dopadají kolmo na povrch Země a odrazy jsou minimální.

### 2.3.7 Znečištění fotovoltaických článků

Znečištění fotovoltaických článků může být způsobeno několika faktory (hlavně prach a různé pylové částice). Většina tohoto znečištění se však při dešti smyje.

Ztráty znečištěním se zvyšují, pokud se úhel mezi slunečními paprsky a plochou panelu zvětší. Například při úhlu dopadu  $25^\circ$  jsou ztráty dvakrát větší, než při kolmém dopadu. Při úhlu dopadu  $60^\circ$  jsou ztráty čtyřikrát větší. Ztráty znečištěním jsou největší ráno a večer, kdy je úhel dopadu největší.

Srážky, pokud dosahují úrovně alespoň 5 mm, mohou snížit ztráty zapříčiněné znečištěním fotovoltaických článků na 0,5%. Bylo naměřeno, že po 5 mm dešti se obnoví produkce článku na 99,5%.

Úhel náklonu panelů nemá významný vliv na znečištění, ale úhel náklonu ovlivňuje schopnost srážek čistit povrch panelu. Panely s polohovacími systémy by se měly nastavovat na úhel minimálně  $5^\circ$  (nebo větší), aby dovolily vodě stékat z povrchu panelů, tím se docílí nejlepšího čistícího účinku. Pevné systémy, které mají nastavený úhel pod  $5^\circ$ , zaznamenávají relativně větší znečištění než panely nastavené na větší úhel. [25]

Nejpoužívanější polovodičové materiály v první a druhé generaci fotovoltaických článků mají rozdílné teplotní součinitele. Teplotní součinitel účinnosti monokrystalického křemíku je  $-0.0523 \text{ } \%/^\circ\text{C}$ . Teplotní součinitel účinnosti polykrystalického křemíku je  $-0.0720 \text{ } \%/^\circ\text{C}$ . Teplotní součinitel účinnosti amorfního hydrogenizovaného křemíku je  $-0.0214 \text{ } \%/^\circ\text{C}$  [20]

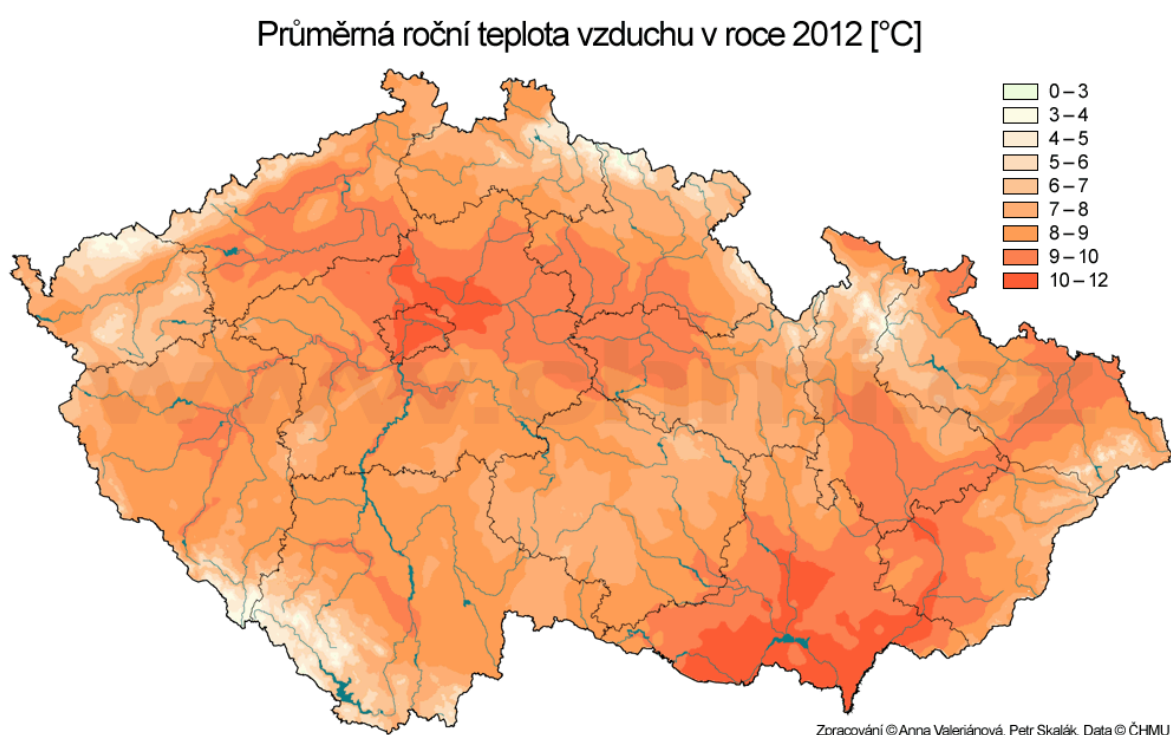
V oblastech okolo  $50^\circ$  s. š. je sluneční záření dopadající na povrch Země složeno asi z 65% podílu difúzního záření a 35% přímého záření. Energetický výtěžek článků první generace v těchto oblastech je o 15% menší než u druhé generace, protože první generace má menší absorpci difúzního záření než druhá generace. [4]

Amorfni hydrogenizovaný křemík má lepší pohlcování difúzního světla, než krystalické formy křemíku, proto je nejlepší kandidát na instalaci do míst, kde je větší podíl difúzního záření – jako jsou například oblasti, kde není možnost směřovat panely přímo na jih, nebo oblasti s častou oblačností.

## 3 Vlivy těchto faktorů v podmínkách České republiky

### 3.1 Teplota v ČR

Průměrná roční teplota vzduchu v České republice je 7,3°C. Na jižní Moravě a v Praze je nejvyšší průměrná teplota udávána v červenci, kdy se pohybuje okolo 20°C. Na území celé České republiky je mírné podnebí. Protože je Česká republika relativně malá, na podnebí nemá vliv zeměpisná šířka. Největší vliv na podnebí tedy má členitost a nadmořská výška. [23]



OBR. 3-1 PRŮMĚRNÁ ROČNÍ TEPLOTA V ROCE 2012 V ČR [29]

### 3.2 Sluneční záření v ČR

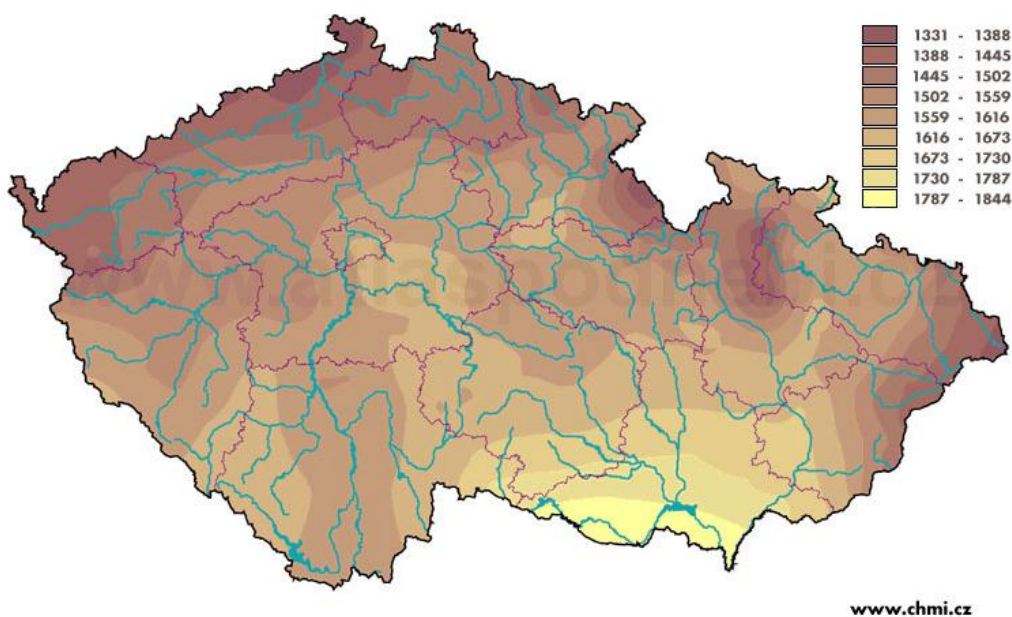
Rozloha České republiky je 78 867 km<sup>2</sup> a 67% jejího povrchu nepřesáhne 500 m n. m. Studie Ministerstva pro místní rozvoj stanovila energii slunečního záření dopadající na Českou republiku asi na 80 000TWh. Odhadovaná využitelná plocha pro fotovoltaické systémy je 5 020 km<sup>2</sup>. [27]



OBR. 3-2 PRŮMĚRNÁ INTENZITA SLUNEČNÍHO ZÁŘENÍ V KWH/M<sup>2</sup>[28]

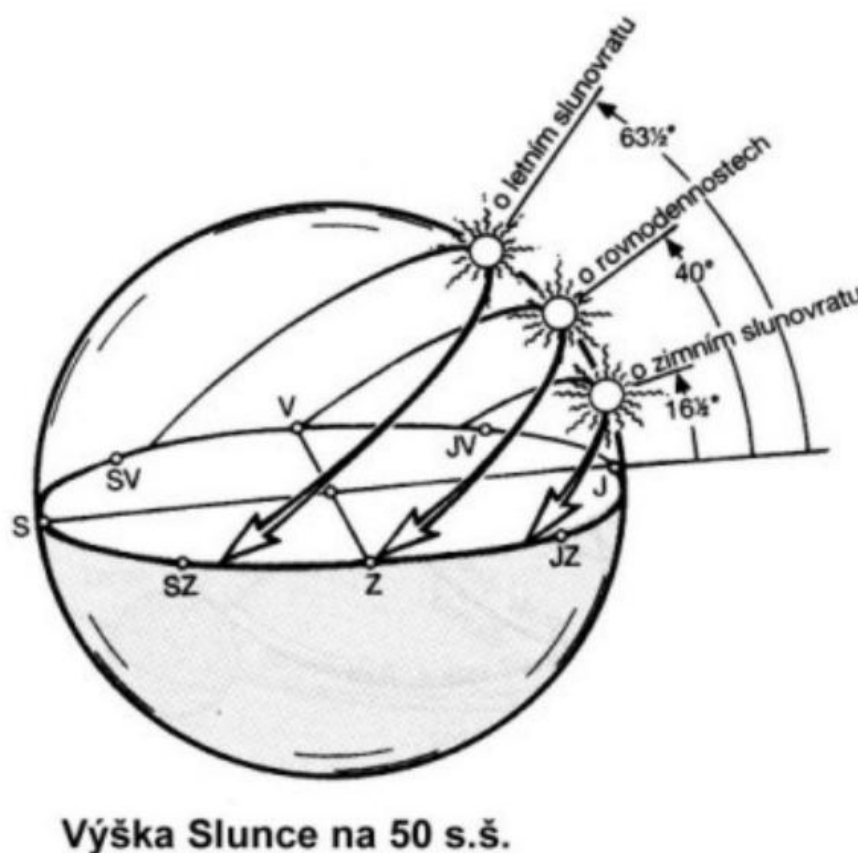
Z Obr. 3-2 je patrné, že v České republice je intenzita slunečního záření po skoro celé ploše v relativně malém rozpětí. Na jižní Moravě je intenzita znatelně větší.

**Roční průměrná doba slunečního záření [h]**



OBR. 3-3 PRŮMĚRNÁ ROČNÍ DOBA SLUNEČNÍHO ZÁŘENÍ NA ÚZEMÍ ČR [31]

Obr. 3-3 nám znázorňuje rozdílnost slunečního záření v ČR. Například průměrná roční doba slunečního záření na jižní Moravě je o 500 hodin delší než na severu Čech.



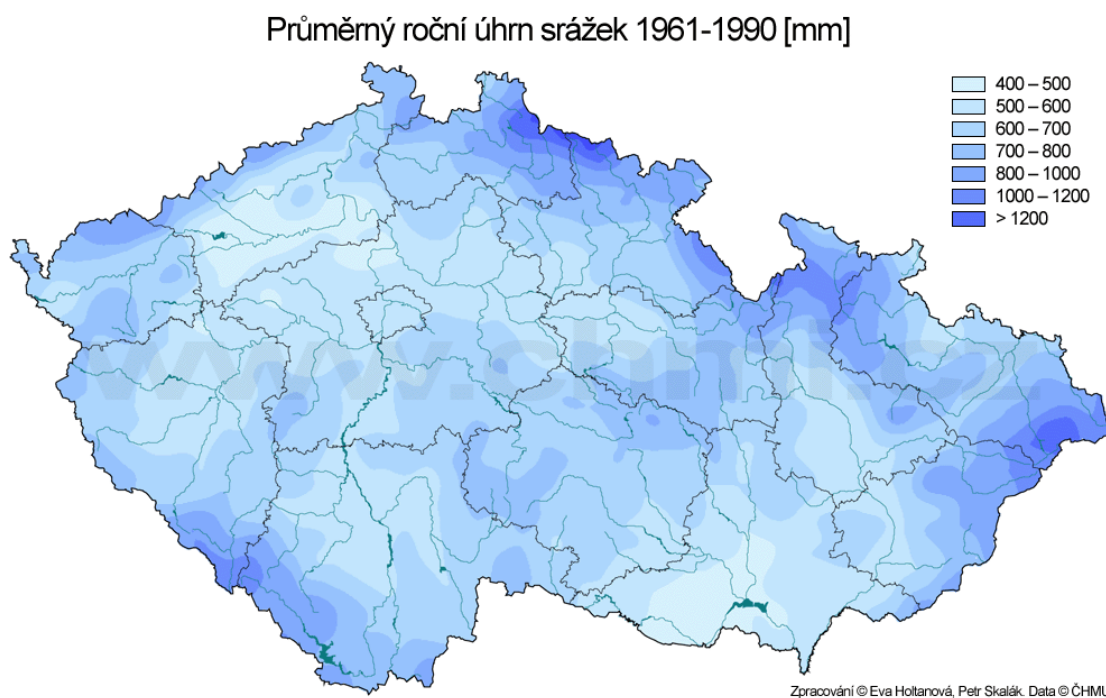
OBR. 3-4 ZNÁZORNĚNÍ POHYBU SLUNCE V ZEMĚPISNÉ ŠÍŘCE ČR (50° S. Š.) [27]

Obr. 3-4 znázorňuje tři polohy Slunce v různých ročních dobách. V letních měsících je Slunce nejvýše nad obzorem. Naopak v zimních měsících Slunce je nejnižší.

### 3.3 Srážky ČR

Množství srážek závisí na nadmořské výšce, ale také má vliv vzdušné proudění, které naráží na horské hřebeny. Návětrné strany proto mají více srážek. Na závětrných stranách srážek ubývá a vzniká tedy srážkový stín.

Bílý potok v Jizerských horách má průměrný úhrn srážek 1702 mm. Naopak v okolí Chomutova je průměrný roční úhrn srážek 401 mm.[23]



OBR. 3-5 PRŮMĚRNÉ SRÁŽKY OD 1961 DO 1990 [30]

### 3.4 Legislativa ČR

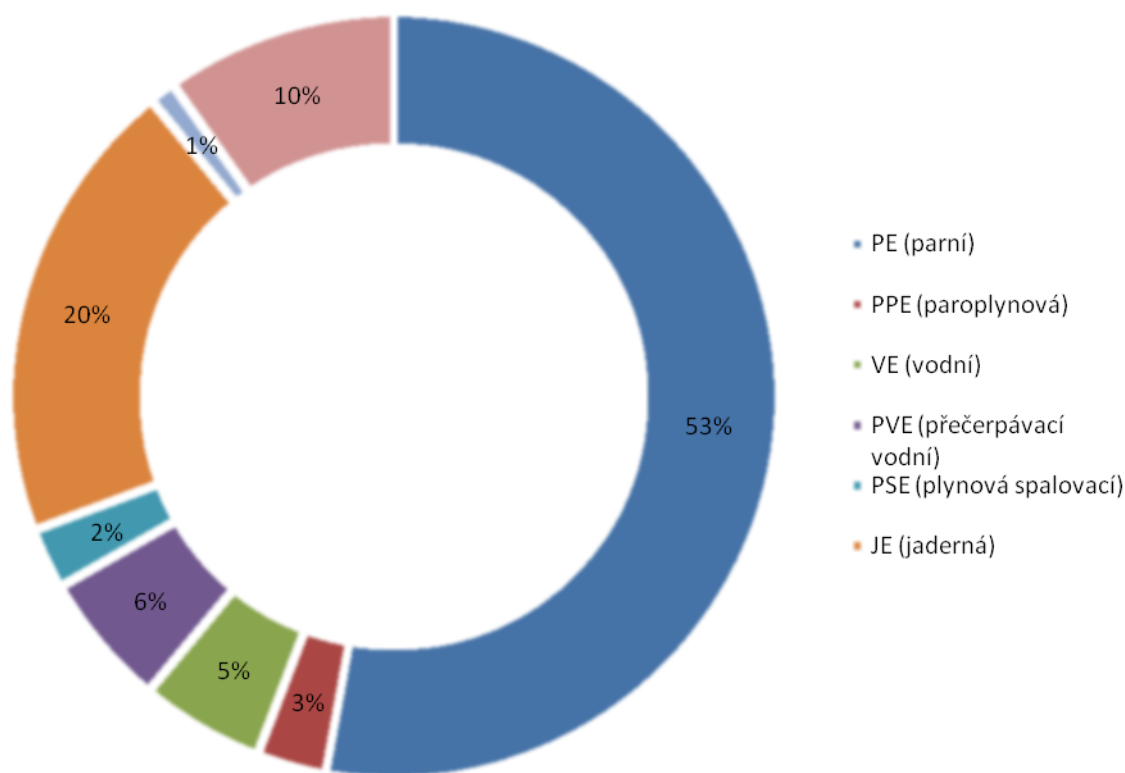
V současné době se v ČR investují stovky milionů korun do výstavby nových solárních polí, které jsou připojené na rozvodnou síť. Na tomto rozvoji se z velké části podílí garantovaná výkupní cena daná zákonem (180/2005 Sb.) o podpoře výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů energie. Tento zákon byl novelizován zákony č. 137/2010 Sb., č. 281/2009 Sb., č. 330/2010 Sb. a č. 402/2010 Sb. Změny těchto zákonů se dají zjednodušit do několika bodů:

- Elektrárny uvedené do provozu po 1. 3. 2011 si mohou nárokovat zelený bonus (přímý výkup) jen v případě instalace na střechách nebo fasádách jedné budovy, která je spojená se zemí pevným základem, je evidována v katastru nemovitostí a nesmí přesáhnout instalovaný výkon 30 kWp.
- Byla zavedena tzv. srážková daň 26% (pro přímý výkup) a 28% (pro zelené bonusy) na elektřinu vyrobenou ze slunečního záření elektrárnami, uvedených do provozu 1. 1. 2009 - 31. 12. 2010. Tato daň platí od 1.1.2011 po dobu tří let.

- Výrobní s instalovaným výkonem pod 30 kW<sub>p</sub>, které jsou umístěny na střešních konstrukcích nebo na fasádách jedné budovy pevně ukotvené v zemi a evidované v katastru nemovitostí jsou osvobozeny od odvodu srážkové daně.

Tyto úpravy zákona změnil stávající podmínky pro fotovoltaické systémy, aby se zabránilo spekulativním investicím do fotovoltaiky. [33, 34, 35]

### 3.5 Instalovaný výkon v ČR



OBR. 3-6 GRAF INSTALOVANÉHO VÝKONU V ČR [%]

Obr. 3-6 naznačuje poměr různých typů elektráren v České republice. Můžeme si určit procentuální zastoupení obnovitelných zdrojů k celkové spotřebě/výrobě elektrické energie.



Celkový instalovaný výkon v ČR ke dni 29. 2. 2012 je 20,098 GWp (171 TWh). Z tohoto instalovaného výkonu je pokryto 78% elektrárnami využívající neobnovitelné zdroje a elektrárny na obnovitelné zdroje pokrývají 22%.

Tepelné elektrárny využívají teplo uvolněné při spalování paliva k ohřevu a přehřívání páry. Pára poté předá svoji energii do turbíny, která otáčí generátorem. Do této kategorie patří všechny druhy elektráren spalující určitý druh paliva, jako jsou:

- Uhelne elektrárny (PE-parní elektrárny) zaujímají asi 53% instalovaného výkonu v ČR.
- Elektrárny využívajících kapalných paliv (ropu, naftu, olej) nejsou v ČR instalované.
- Elektrárny spalující zemní plyn (PPE-paroplynové elektrárny a PSE-plynová spalovací elektrárny) mají 5% podíl v instalovaném výkonu ČR.
- Jaderné elektrárny mají 20% podíl instalovaného výkonu.

Zbytek výroby zaujímají obnovitelné zdroje:

- Vodní elektrárny se dají rozdělit na akumulční (VE-vodní elektrárny), průtočné (VE-vodní elektrárny), nebo na přečerpávací (PVE přečerpávací vodní). Akumulční a přečerpávací elektrárny se používají při špičkovém zatížení sítě pro rychlý náběh a velký výkon. Nevýhodou pro tyto elektrárny je však krátká doba provozu, z důvodu omezených zásob vody akumulované v zásobnících (přehradě, jde-li o akumulční elektrárnu). Průtočné elektrárny jsou v plynulém provozu, ale mají menší výkon než akumulční elektrárny.
- Větrné elektrárny (VTE-větrné) mají 1% podíl v instalovaném výkonu ČR.
- Fotovoltaické elektrárny (SLE-solární) mají 10% podíl v instalovaném výkonu v ČR.
- Elektrárny využívající biomasu ročně vyprodukují 342 836 MWh (což je 40 MWp - 0,2% instalovaného výkonu) [36]

## Závěr

Na území ČR jsem určil nejlepší oblast pro výstavbu fotovoltaických elektráren (Obr. 3-2; Obr. 3-3). Jedná se o lokalitu s největší intenzitou a nejdelsí dobou slunečního záření, která se nachází na jižní Moravě. Právě zde se staví velké množství fotovoltaických elektráren.

V České republice je 10% celkového instalovaného výkonu ve fotovoltaických systémech. Zákonem dané velké výhody pro fotovoltaické systémy podnítily výstavbu velkého množství nových projektů.

Instalovaný výkon fotovoltaických elektráren v České republice ke dni 31. 12. 2009 byl 411 MWp. Aktuální instalovaný výkon ke dni 29. 2. 2012 je 1970,79 MWp. Aktuální instalovaný výkon se tedy znásobil skoro 5 krát. Tyto projekty však stále využívají fotovoltaické články první a druhé generace (amorfní hydrogenizovaný křemík). První generace by se však měla omezit.

Po uvedení v platnost úpravy zákona č. 180/2005 Sb. zákony č. 137/2010 Sb., č. 281/2009 Sb., č. 330/2010 Sb. a č. 402/2010 Sb. se pravděpodobně nebudou stavět nové fotovoltaické elektrárny takovým tempem, jaké jsme viděli v několika posledních letech.

Výzkum by měl probíhat na poli třetí generace, kde jsou technologie, které by prakticky mohly posunout účinnost nad 50%. Nejvíce se mi líbí technologie založené na kvantové mechanice, tyto technologie by v budoucnu mohly nahradit tepelné elektrárny. A navíc využívají materiály, které by bylo možné zabudovávat přímo do zdí a střech budov. I přes skutečnost, že jsou zatím ve fázi laboratorního výzkumu, vidím budoucnost právě v těchto technologiích.

Česká republika má dobré podmínky (samozřejmě jsou státy, kde jsou podmínky pro obnovitelné zdroje mnohem příznivější) pro využívání vodní energie a fotovoltaických systémů. Pokud chceme omezit využívání neobnovitelných zdrojů, musíme přijít na alternativu, která bude schopna nahradit tepelné elektrárny. Současné druhy obnovitelných zdrojů však nejsou schopny plně nahradit výrobu v tepelných elektrárnách.

## Použitá literatura

- [1] ZAJÍČKOVÁ-BÁRTOVÁ, Soňa.VUT [online]. *Analýza slunečního záření*. [cit. 15. 3. 2013]. Dostupné z:  
[http://www.fce.vutbr.cz/veda/JUNIORSTAV2007/pdf/Sekce\\_1.4/Zajickova\\_Bartova\\_CL.pdf](http://www.fce.vutbr.cz/veda/JUNIORSTAV2007/pdf/Sekce_1.4/Zajickova_Bartova_CL.pdf)
- [2] VANĚČEK, M. Fyzikální ústav Akademie věd ČR [online]. *Přeměna sluneční energie v energii elektrickou*. ©2000. [cit. 15. 3. 2013]. Dostupné z:  
<http://www.fzu.cz/popularizace/premena-slunecni-energie-v-energie-elektrickou>
- [3] ŠULC, Tomáš. Pctuning.cz [online]. *Od písku k procesoru — výroba křemíkového waferu*. 22.6.2012. [cit. 15. 3. 2013]. ISSN 1214-0201. Dostupné z:  
<http://pctuning.tyden.cz/hardware/procesory-pameti/24350-od-pisku-k-procesoru-vyroba-kremikoveho-waferu?start=5>
- [4] Ing. BENEŠOVÁ, Hana, prof. Ing. Jan ŠKORPIL, Csc. ZČU v Plzni – Fakulta elektrotechnická, Katedra elektroenergetiky a ekologie. *Analysis of Similarities and Differences between Photovoltaic Cells 1st and 2nd Generation*. 2011. Plzeň
- [5] Ing. BENEŠOVÁ, Hana, prof. Ing. Jan ŠKORPIL, Csc. ZČU v Plzni – Fakulta elektrotechnická, Katedra elektroenergetiky a ekologie. *Analysis of Tandem Photovoltaic Cells*. Plzeň
- [6] CLARK, Owain D. University of Southampton Research Repository ePrintsSolon [online]. *Thin Film Amorphous Silicon Cells by Inductive PECVD, with a View Towards Flexible Substrates*. June 2009. [cit. 16. 3. 2013]. Dostupné z:  
<http://eprints.soton.ac.uk/66604/1.hasCoversheetVersion/Thesis.pdf>
- [7] *Amorfní křemík - Technologie, která neprávem stojí opomenutá v koutě*. Maxisun.cz fotovoltaické systémy [online]. [cit. 16. 3. 2013]. Dostupné z:  
<http://www.maxisun.cz/clanky/amorfni-kremik-technologie-ktera-nepravem-stoji-opomenuta-v-koute>
- [8] *Základy fotovoltaiky*. IT serve [online]. [cit. 21. 3. 2013]. Dostupné z:  
<http://www.itserve.cz/index.php/fotovoltaicke-elektrarny/fotovoltaika>
- [9] RNDr. Antonín FEJFAR, CSc. Fyzikální ústav Akademie věd ČR [online]. *Fotovoltaika druhé a třetí generace*. 4. 9. 2006. [cit. 21. 3. 2013]. ISSN 1801-4399. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/3506-fotovoltaika-druhe-a-treti-generace>
- [10] *Concentrating Photovoltaics (CPV)*. Green Rhino Energy [online]. [cit. 21. 3. 2013]. Dostupné z:  
[http://www.greenrhinoenergy.com/solar/technologies/pv\\_concentration.php](http://www.greenrhinoenergy.com/solar/technologies/pv_concentration.php)

- [11] *Fv panely, systémy, návratnost, výtežnost*. Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava [online]. [cit. 21. 3. 2013]. Dostupné z: <http://rccv.vsb.cz/Island/docs/Fotovoltaika2.pdf>
- [12] BECHNÍK, Bronislav, Technická zařízení budov [online]. *Historie a perspektivy OZE - fotovoltaika, méně rozšířené technologie*. 9.3.2009. [cit. 21. 3. 2013]. ISSN 1801-4399. Dostupné z: <http://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/5470-historie-a-perspektivy-oze-fotovoltaika-technologie-krystalickeho-kremiku>
- [13] BECHNÍK, Bronislav, Technická zařízení budov [online]. *Historie a perspektivy OZE - fotovoltaika, méně rozšířené technologie*. 30.3.2009. [cit. 21. 3. 2013]. ISSN 1801-4399. Dostupné z: <http://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/5517-historie-a-perspektivy-oze-fotovoltaika-mene-rozsirene-technologie>
- [14] *Jaký je optimální sklon a orientace fotovoltaických panelů*. Liglass.cz [online]. 2009. [cit. 21. 3. 2013]. Dostupné z: <http://www.solar-liglass.cz/fotovoltaicke-dotazy-a-odpovedi/54-optimalni-sklon-orientace-fotovoltaickych-panelu.html>
- [15] *FoxSun - polohovací jednotky*. Prosolar.net [online]. ©2006. [cit. 21. 3. 2013]. Dostupné z: <http://www.prosolar.net/solarni-polohovaci-jednotky.php>
- [16] Česká agentura pro obnovitelné zdroje energie [online], *První fotovoltaické články s kvantovou účinností přes 100 %*, [cit. 22. 3. 2013]. Dostupné z: <http://www.czrea.org/cs/druhy-oze/fotovoltaika/prvni-fotovoltaicke-clanky-s-quantovou-ucinnosti-pres-100>
- [17] ŠKORPÍK, Jiří. Transformační technologie [online]. *Sluneční záření jako zdroj energie*. 09. 2006. Poslední změna 02. 2013 [cit. 22. 3. 2013]. ISSN 1804-8293. Dostupné z <http://www.transformacni-technologie.cz/slunecni-zareni-jako-zdroj-energie.html>
- [18] FESHARAKI, V. Jafari, Majid DEGHANI, J. Jafari FESHARAKI, Hamed TAVASOLI. Department of Electrical Engineering, Najaf Abad Branch, Islamic Azad University, Najaf Abad, Iran. [online], *The Effect of Temperature on Photovoltaic Cell Efficiency*. November 2011. [cit. 23. 3. 2013]. Dostupné z: [http://research.iaun.ac.ir/pd/jfesharaki/pdfs/PaperC\\_4124.pdf](http://research.iaun.ac.ir/pd/jfesharaki/pdfs/PaperC_4124.pdf)
- [19] PIDWIRNY, Michael. The Encyclopedia of Earth [online]. *Energy balance of Earth*. April 15, 2010. Last revise Date March 27, 2013. [cit. 23. 3. 2013]. Dostupné z: [http://www.eoearth.org/article/Energy\\_balance\\_of\\_Earth](http://www.eoearth.org/article/Energy_balance_of_Earth)
- [20] The Temperature Dependence Coefficients of Amorphous Silicon and Crystalline Photovoltaic Modules Using Malaysian Field Test Investigation. SHAARI, Sulaiman, Kamaruzzaman SOPIAN, Nowshad AMIN and Mohd Nizan KASSIM. Faculty of Applied Sciences, University Teknologi MARA, Solar Energy Research Institute, National University of Malaysia (UKM), Department of Electrical Electronics and

- Systém Engineering, National University of Malaysia[online].©2009.[cit. 23. 3. 2013].ISSN 1546-9239. Dostupné z:  
<http://www.iie.org.mx/PNC/energia/Files/photovoltaics%201.pdf>
- [21] *Sluneční energie*. Wikipedia [online]. [cit. 23. 3. 2013]. Dostupné z:  
[http://cs.wikipedia.org/wiki/Slune%C4%8Dn%C3%AD\\_energie](http://cs.wikipedia.org/wiki/Slune%C4%8Dn%C3%AD_energie)
- [22] *Global Patterns of Insolation Receipts*. Physical Geography.net[online], ©2006, 2nd Edition. Poslední změna 05. 07. 2009 15:07[cit. 24. 3. 2013]. Dostupné z:  
<http://www.physicalgeography.net/fundamentals/7g.html>
- [23] HAJDUCH, Ondřej.Geografický web [online].*Podnebí ČR*.Poslední změna 12. 07. 2010 [cit. 24. 3. 2013]. Dostupné z: <http://www.hajduch.net/cesko/priroda/podnebi>
- [24] *Vertikální členění atmosféry*. Meteocentrum[online]. [cit. 24. 3. 2013]. Dostupné z:  
<http://www.meteocentrum.cz/encyklopedie/vertikalni-cleneni-atmosfery.php>
- [25] CANADA, Scott. Solarprofessional.com [online]. *Impacts of Soiling on Utility-Scale PV System Performance, Apr/May 2013*[cit. 24. 3. 2013]. Dostupné z:  
[http://solarprofessional.com/articles/operations-maintenance/impacts-of-soiling-on-utility-scale-pv-system-performance?v=disable\\_pagination](http://solarprofessional.com/articles/operations-maintenance/impacts-of-soiling-on-utility-scale-pv-system-performance?v=disable_pagination)
- [26] *Výška slunce nad obzorem*.GEOGRAFIE A ZEMĚPIS [online]. [cit. 6. 4. 2013]. Dostupné z: [http://geografie.kvalitne.cz/soubory/Vyska\\_slun\\_obr.jpg](http://geografie.kvalitne.cz/soubory/Vyska_slun_obr.jpg)
- [27] LIMBERK,Ondřej. ČVUT, Fakulta elektrotechnická, Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd [online]. *Solární energetika v České republice*, ©2009. [cit. 6. 4. 2013]. Dostupné z: <http://www.cez.cz/edee/content/file/vzdelavani/10-limberk.pdf>
- [28] HULD, Thomas, Irene PINEDO-PASCUA, European Commission – Joint Research Center, Institut for Energy and Transsport, Renewable Energy Unit[online], *Global irradiation and solar electricity potential*, ©2012.[cit. 6. 4. 2013]. Dostupné z:  
[http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/cmeps/eu\\_cmsaf\\_opt/G\\_opt\\_CZ.png](http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/cmeps/eu_cmsaf_opt/G_opt_CZ.png)
- [29] VALERIÁNOVÁ, Anna, Petr SKALÁK. Český hydrometeorologický ústav[online], *Mapy charakteristik klimatu*, ©2012. [cit. 6. 4. 2013]. Dostupné z:  
<http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/meteo/ok/images/t12.gif>
- [30] HOTLANOVÁ, Eva, Petr SKALÁK, Český hydrometeorologický ústav [online], *Mapy charakteristik klimatu*, ©2012. [cit. 7. 4. 2013]. Dostupné z:  
<http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/meteo/ok/images/sra6190.gif>
- [31] *O sluneční energii*. Solareni.cz[online], [cit. 7. 4. 2013]. Dostupné z:  
<http://www.solareni.cz/slunecni-elektrarny/slunecni-energie/>

- [32] *Instalovaný výkon v ES ČR*. Energetický regulační úřad[online]. 29.2. 2012[cit. 7. 4. 2013]. Dostupné z:  
[http://www.eru.cz/user\\_data/files/statistika\\_elektro/mesicni\\_zpravy/2012/unor/page50.htm](http://www.eru.cz/user_data/files/statistika_elektro/mesicni_zpravy/2012/unor/page50.htm)
- [33] *Zákon č. 137/2010 Sb.* Sagit.cz [online]. [cit. 7. 4. 2013]. Dostupné z:  
[http://www.sagit.cz/pages/zpravodajtxtanot.asp?zdroj=../\\_anotace/sb10137a&cd=166&typ=r](http://www.sagit.cz/pages/zpravodajtxtanot.asp?zdroj=../_anotace/sb10137a&cd=166&typ=r)
- [34] *Legislativa*. Solarnivyroba.cz[online], ©2013.[cit. 8. 4. 2013]. Dostupné z:  
<http://www.solarnivyroba.cz/legislativa>
- [35] *Legislativa 2013*. Roadenergy.eu [online].[cit. 8. 4. 2013]. Dostupné z:  
<http://www.roadenergy.eu/d62-legislativa-2013-html.html>
- [36] *Výroba elektřiny*. ČEZ [online].[cit. 5. 5. 2013]. Dostupné z:  
<http://www.cez.cz/cs/vyroba-elektřiny.html>
- [37] BECHNÍK, Bronislav. Czech RE Agency, o. p. s [online], *Instalovaný výkon fotovoltaických elektráren v roce 2009 narostl. Výkupní cena se snížila*.15.1.2010[cit. 5. 5. 2013]. ISSN 1803-4160. Dostupné z: <http://www.nazeleno.cz/aktualne/instalovany-vykon-fotovoltaickych-elektřaren-v-roce-2009-narostl-vykupni-cena-se-snizi.aspx>
- [38] *Fotovoltaika pro každého*. Czech RE Agency, o. p. s [online]. [cit. 6. 5. 2013]. Dostupné z: <http://www.czrea.org/cs/druhy-oze/fotovoltaika>
- [39] Ing. BECHNÍK, Bronislav Ph.D. Czech RE Agency, o. p. s [online]. *Solární elektřina v noci – legálně*.19. 5. 2010 [cit. 7. 5. 2013]. Dostupné z:  
<http://www.czrea.org/cs/druhy-oze/fotovoltaika/solarni-elektřina-nocni>
- [40] Ing. ZMRHAL, Vladimír Ph.D. České vysoké učení technické v Praze [online]. *Vzduchotechnika*, [cit. 7. 5. 2013]. Dostupné z:  
[http://www.users.fs.cvut.cz/~zmrhavl/Projekt3/Podklady/01\\_Vypocet%20tepelne%20Ozateze.pdf](http://www.users.fs.cvut.cz/~zmrhavl/Projekt3/Podklady/01_Vypocet%20tepelne%20Ozateze.pdf)
- [41] *Belictric first company to install 1 GW PV power*. DeepResource.com[online]. [cit. 24. 5. 2013]. Dostupné z: <http://deepresource.wordpress.com/2012/05/23/belictric-first-company-to-install-1-gw-pv-power/>

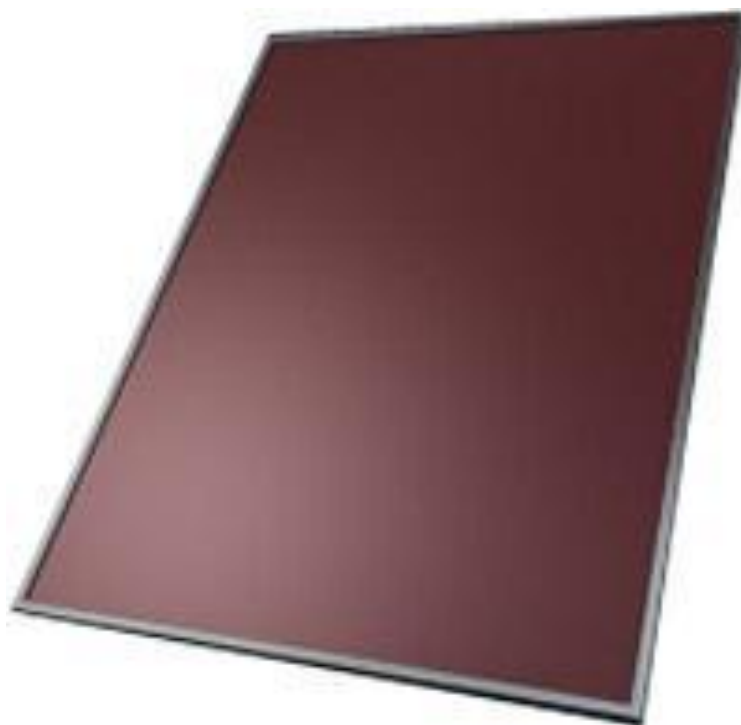
## Přílohy



PŘÍLOHA 1 ROZDÍL MEZI MONOKRYSTALICKÝM ČLÁNEM A POLYKRYSTALICKÝM [38]



PŘÍLOHA 2 RŮZNĚ BAREVNÉ DRUHY POLYKRYSTALICKÝCH ČLÁNKŮ [38]



**PŘÍLOHA 3 PANEL Z AMORFNÍHO KŘEMÍKU [7]**



**PŘÍLOHA 4 SOLÁRNÍ ELEKTRÁRNA S TENKOVSTVÝMI FOTOVOLTAICKÝMI PANELE [41]**





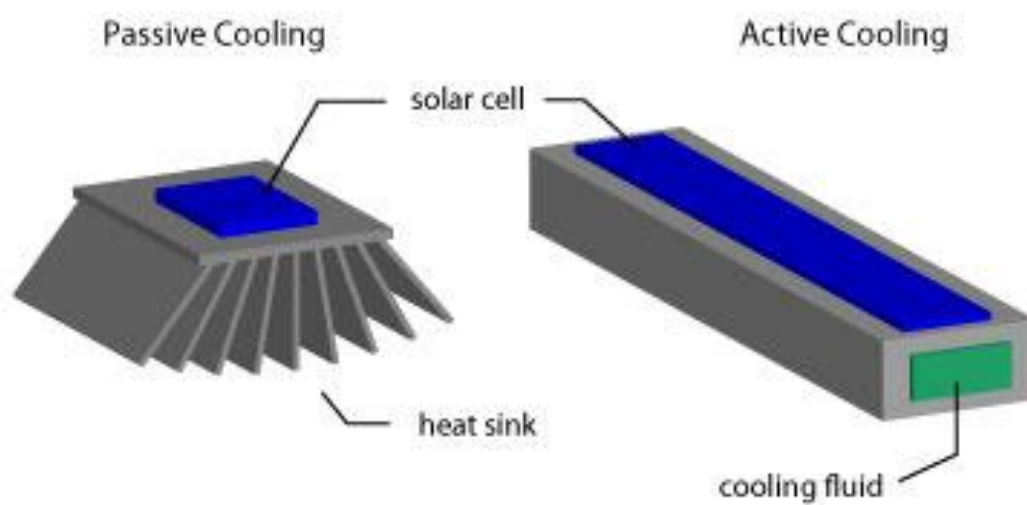
**PŘÍLOHA 5 ZNÁZORNĚNÍ POLOHOVACÍHO SYSTÉMU FOXSUN [15]**



**PŘÍLOHA 6 FOTOVOLTAICKÁ ELEKTRÁRNA S VYUŽITÍM KONCENTRÁTORŮ [39]**



PŘÍLOHA 7 PANEL VYUŽÍVAJÍCÍ LINEÁRNÍ FRESNELOVU ČOČKU [10]



PŘÍLOHA 8 ZNÁZORNĚNÍ PROVEDENÍ PASIVNÍHO A AKTIVNÍHO CHLAZENÍ [10]